

what is claimed is :

1. 投影光学系によって形成される所定のマークの空間像を計測する空間像計測方法は、以下を含む：

照明光によって前記マークを照明し、前記マークの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成する；

前記投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延び、かつ前記2次元平面内で前記第1方向に垂直な第2方向の幅が前記照明光の波長 $\lambda$ 及び前記投影光学系の開口数 $N.A.$ の少なくとも一方を考慮して定められた少なくとも1つのスリット状の開口パターンを有するパターン形成部材を、前記像面近傍の前記2次元平面に平行な面内で前記第2方向に走査するとともに、前記開口パターンを透過した前記照明光を光電変換して前記開口パターンを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る。

2. 請求項1に記載の空間像計測方法において、

前記開口パターンの前記第2方向の幅は、前記照明光の波長 $\lambda$ 及び前記投影光学系の開口数 $N.A.$ の両者を考慮して定められていることを特徴とする空間像計測方法。

3. 請求項1に記載の空間像計測方法において、

前記開口パターンの前記第2方向の幅は、零より大きく前記照明光の波長 $\lambda$ を前記投影光学系の開口数 $N.A.$ で除した( $\lambda/N.A.$ )以下であることを特徴とする空間像計測方法。

4. 請求項3に記載の空間像計測方法において、

前記開口パターンの前記第2方向の幅は、前記 $(\lambda / N \cdot A.)$ の0.8倍以下であることを特徴とする空間像計測方法。

5. 請求項1に記載の空間像計測方法において、

前記開口パターンの前記第2方向の幅は、前記照明光の特性及び前記パターンの種別を含む照明条件によって定まる解像限界のラインアンドスペースパターンのピッチである最小ピッチの半分の奇数倍であることを特徴とする空間像計測方法。

6. 請求項1に記載の空間像計測方法において、

前記開口パターン前記第2方向の幅は、前記照明光の波長を $\lambda$ 、前記投影光学系の開口数を $N \cdot A.$ として、 $\{\lambda / (2 N \cdot A.)\}$ の奇数倍として規定されることを特徴とする空間像計測方法。

7. 請求項1に記載の空間像計測方法において、

前記光電変換信号をフーリエ変換して空間周波数分布を求め、該求めた空間周波数分布を前記開口パターンの既知の周波数スペクトルで除して元の空間像のスペクトル分布に変換し、該スペクトル分布を逆フーリエ変換することにより元の空間像を回復することを更に含む空間像計測方法。

8. 投影光学系の光学特性を計測する光学特性計測方法は、以下を含む：

照明光によって所定のマークを照明し、該マークの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成する；

前記投影光学系の光軸に垂直な2次元平面内で第1方向に延びる所定幅のスリット状の開口パターンを少なくとも1つ有するパターン形成部材を前記像面近傍の前記2次元平面に平行な面内で前記第1方向に垂直な第2方向に走査す

るとともに、前記開口パターンを透過した前記照明光を光電変換して前記開口パターンを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を得る；

前記光電変換信号に基づいて前記投影光学系の光学特性を求める。

9. 請求項8に記載の光学特性計測方法において、

前記マークは、前記第2方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンから成り、

前記光電変換信号の検出を、前記パターン形成部材の前記光軸方向の位置を変化させつつ複数回繰り返し、

前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号それぞれに基づいて前記パターン形成部材の前記光軸方向の位置に応じて変化する所定の評価量を求め、該評価量の大小に基づいて前記投影光学系のベストフォーカス位置を求めることを特徴とする光学特性計測方法。

10. 請求項9に記載の光学特性計測方法において、

前記評価量は、前記複数の光電変換信号それぞれをフーリエ変換して得られるそれぞれの1次周波数成分と零次周波数成分の振幅比であるコントラストであり、

前記コントラストが最大となる光電変換信号に対応する前記パターン形成部材の前記光軸方向の位置をベストフォーカス位置とすることを特徴とする光学特性計測方法。

11. 請求項9に記載の光学特性計測方法において、

前記ベストフォーカス位置の検出を、前記投影光学系の光軸からの距離が異なる複数点に関して繰り返し行うことにより、前記投影光学系の像面形状を検出することを更に含む光学特性計測方法。

前記投影光学系の光軸における前記ベストフォーカス位置の検出を、異なるピッチの複数のラインアンドスペースパターンについて繰り返し行い、前記各パターンに対応する前記ベストフォーカス位置の差に基づいて前記投影光学系の球面収差を求めることを更に含む光学特性計測方法。

前記空間像の形成と前記光電変換信号の検出とを、前記投影光学系のイメージフィールド内の異なる位置に投影される前記マークの空間像について繰り返し行い、

前記繰り返しにより得られた複数の光電変換信号に基づいて個別に対応する空間像の位置をそれぞれ算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のディストーション及び倍率の少なくとも一方を求めることを特徴とする光学特性計測方法。

前記マークは、前記第2方向の幅が前記開口パターンの前記第2方向の幅より大きい矩形パターンを少なくとも1つ含むマークであることを特徴とする光学特性計測方法。

前記各空間像の位置は、前記複数の光電変換信号それぞれの位相を検出し、該位相検出の結果に基づいて算出されることを特徴とする光学特性計測方法。

16. 請求項14に記載の光学特性計測方法において、

前記各空間像の位置は、前記複数の光電変換信号それぞれと所定のスライスレベルとの交点に基づいて算出されることを特徴とする光学特性計測方法。

17. 請求項13に記載の光学特性計測方法において、

前記マークは、全体として矩形状で、前記第1方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンから成ることを特徴とする光学特性計測方法。

18. 請求項17に記載の光学特性計測方法において、

前記各空間像の位置は、前記複数の光電変換信号それぞれと所定のスライスレベルとの交点に基づいて算出されることを特徴とする光学特性計測方法。

19. 請求項8に記載の光学特性計測方法において、

前記マークは、前記第2方向に対応する方向に周期性を有するラインアンドスペースパターンから成り、

前記光電変換信号に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることを特徴とする光学特性計測方法。

20. 請求項19に記載の光学特性計測方法において、

前記光電変換信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて各ラインパターンの線幅異常値を算出し、該算出結果に基づいて前記コマ収差を算出することを特徴とする光学特性計測方法。

21. 請求項19に記載の光学特性計測方法において、

前記光電変換信号の前記各ラインパターンのピッチに対応する第1基本周波数成分と、前記ラインアンドスペースパターンの全体の幅に対応する第2周波数成分との位相差を算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差

を求めることを特徴とする光学特性計測方法。

22. 請求項8に記載の光学特性計測方法において、

前記マークは、前記第2方向に対応する方向に所定間隔で配置された線幅の異なる少なくとも2種類のラインパターンを有する対称マークであり、

前記光電変換信号と所定のスライスレベルとの交点に基づいて前記マークの空間像の対称性のずれを算出し、該算出結果に基づいて前記投影光学系のコマ収差を求めることを特徴とする光学特性計測方法。

23. 請求項8に記載の光学特性計測方法において、

前記開口パターンの前記第2方向の幅は、前記照明光の波長 $\lambda$ 及び前記投影光学系の開口数 $N.A.$ の少なくとも一方を考慮して定められていることを特徴とする光学特性計測方法。

24. 投影光学系の光学特性を計測する光学特性計測方法は、以下を含む：

前記投影光学系の有効視野内の第1の検出点に第1マークを位置させた状態で照明光により照明して前記第1マークの空間像を形成し、前記投影光学系の光軸方向に関する第1位置で前記第1マークの空間像に対して計測用パターンを相対的に走査して前記計測用パターンを介した光を光電変換して前記空間像に対応する光強度分布を計測する；

前記投影光学系の有効視野内の第2の検出点に第2マークを位置させた状態で照明光により照明して前記第2マークの空間像を形成し、前記投影光学系の光軸方向に関する第2位置で前記第2マークの空間像に対して前記計測用パターンを相対的に走査して前記計測用パターンを介した光を光電変換して前記空間像に対応する光強度分布を計測する；

前記計測用パターンが前記光軸方向の第1位置にあるときの前記第1マーク

の空間像の計測結果から得られる前記第 1 マークの空間像の前記光軸に直交する面内の第 1 の結像位置と、前記計測用パターンが前記光軸方向の第 2 位置にあるときの前記第 2 マークの空間像の計測結果から得られる前記第 2 マークの空間像の前記光軸に直交する面内の第 2 の結像位置との相対位置関係を求め、該相対位置関係から前記投影光学系のテレセントリシティを算出する。

24. 請求項 23 に記載の光学特性計測方法において、

前記第 1 マークと第 2 マークとは同一のマークであることを特徴とする光学特性計測方法。

25. 請求項 23 に記載の光学特性計測方法において、

前記計測用パターンは、前記走査方向の幅が、前記照明光の波長  $\lambda$  及び前記投影光学系の開口数  $N.A.$  の少なくとも一方を考慮して定められた開口パターンであることを特徴とする光学特性計測方法。

26. 投影光学系によって形成される所定のマークの空間像を計測する空間像計測装置は、以下を備える：

前記マークの空間像を前記投影光学系を介して像面上に形成するため、前記マークを照明する照明装置；

前記投影光学系の光軸に垂直な 2 次元平面内で第 1 方向に延びるとともに、これに垂直な第 2 方向の幅が零より大きく前記照明光の波長  $\lambda$  を前記投影光学系の開口数  $N.A.$  で除した ( $\lambda / N.A.$ ) 以下である、少なくとも 1 つのスリット状の開口パターンを有するパターン形成部材；

前記開口パターンを透過した前記照明光を光電変換して、前記開口パターンを透過した前記照明光の強度に応じた光電変換信号を出力する光電変換素子；

前記照明装置により前記マークが照明され、前記像面上に前記空間像が形成

された状態で、前記像面近傍の前記２次元平面に平行な面内で前記パターン形成部材を前記第２方向に走査するとともに、前記光電変換素子からの光電変換信号に基づいて前記空間像に対応する光強度分布を計測する処理装置。

２７． 第１面上のパターンを第２面に投影する投影光学系の光学特性を計測する光学特性計測装置であって、

請求項２６に記載の空間像計測装置と；

前記空間像計測装置による前記光強度分布の計測に際して得られた前記光電変換信号に基づいて前記投影光学系の光学特性を算出する演算装置と；を備える光学特性計測装置。

２８． マスクに形成された回路パターンを投影光学系を介して基板に転写する露光装置であって、

前記基板を保持する基板ステージと；

前記パターン形成部材が前記基板ステージと一体で移動可能に構成された請求項２６に記載の空間像計測装置と；を備える露光装置。

２９． 請求項２８に記載の露光装置において、

前記空間像計測装置を用いて、種々のマークパターンの空間像に対応する光強度分布を計測し、その計測された光強度分布のデータに基づいて前記投影光学系の光学特性を求める制御装置を更に備える露光装置。

３０． 請求項２８に記載の露光装置において、

前記基板ステージ上のマークの位置を検出するマーク検出系と；

前記空間像計測装置を用いて、前記投影光学系による前記マスクのパターンの投影位置と前記マーク検出系との相対位置関係を検出する制御装置と；を更



に備える露光装置。

3 1. 照明光により所定のパターンを照明し、前記パターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光装置は、以下を備える：

各種自己計測に用いられる複数種類の計測マークが形成された自己計測用原版；

前記自己計測用原版が載置され、前記照明光によって照明可能な前記投影光学系の物体側焦点面位置近傍に前記自己計測用原版を移動させることが可能な自己計測用原版載置ステージ。

3 2. 請求項 3 1 に記載の露光装置であって、

前記投影光学系の光軸に垂直な 2 次元面内に配置され計測用パターンが形成されたパターン形成部材と、前記計測用パターンを介した前記照明光を光電変換する光電変換素子とを有する空間像計測器と；

前記照明光によって前記自己計測用原版の少なくとも一部が照明され、前記投影光学系によってその像側焦点面近傍に前記照明光で照明された前記計測マークの空間像が形成された際に、該空間像と前記計測用パターンとが相対走査されるように前記自己計測用原版載置ステージと前記パターン形成部材との少なくとも一方を駆動する駆動装置と；を更に備える露光装置。

3 3. 請求項 3 2 に記載の露光装置において、

前記計測用パターンは、前記相対走査される方向の幅が零より大きく前記照明光の波長  $\lambda$  を前記投影光学系の開口数  $N.A.$  で除した ( $\lambda / N.A.$ ) 以下である、少なくとも 1 つのスリット状の開口パターンを含むことを特徴とする露光装置。

34. 請求項31に記載の露光装置において、

前記自己計測用原版載置ステージは、前記所定のパターンが形成されたマスクが載置されるマスクステージであることを特徴とする露光装置。

35. 請求項34に記載の露光装置において、

前記基板が載置されるとともに、基準マークが設けられた基板ステージと；

前記マスクステージ上に存在するマークを観察する観察顕微鏡と；

前記基板をロット単位で露光する際に、各ロット先頭の基板の露光時には、前記自己計測用原版、前記空間像計測器、及び前記駆動装置を用いて前記自己計測用原版上の計測マークの空間像計測を行い、その計測結果に基づいて前記投影光学系の倍率を算出するとともに、前記各ロット内の先頭以外の基板の露光時には、自己計測用原版及び前記マスクの一方のマークと、前記基板ステージ上の基準マークの投影光学系を介した像とを前記観察顕微鏡を用いて観察し、その観察結果に基づいて前記投影光学系の倍率を算出する制御装置と；を更に備える露光装置。

36. 請求項31に記載の露光装置において、

前記自己計測用原版は、前記所定のパターンが形成されたマスクであることを特徴とする露光装置。

37. 請求項31に記載の露光装置において、

前記自己計測用原版に形成された計測マークには、前記投影光学系のディストーション計測マーク、ベストフォーカス計測用の繰り返しマーク、ベストフォーカス計測用の疑似孤立線マーク、前記基板との重ね合せ誤差計測用のアライメントマークの少なくとも1つが含まれることを特徴とする露光装置。

38. 請求項31に記載の露光装置において、

前記自己計測用原版に形成された計測マークには、孤立線マークと、所定のピッチを有するラインアンドスペースマークとが含まれることを特徴とする露光装置。

39. 第1面上のパターンを第2面上に投影する投影光学系の調整方法は、以下を含む：

請求項8に記載の光学特性計測方法により投影光学系の光学特性を計測する

；

前記光学特性の計測結果に基づいて投影光学系を調整する。

40. マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光方法は、以下を含む：

請求項39に記載の投影光学系の調整方法により前記投影光学系を調整する

；

前記光学特性が調整された前記投影光学系を用いて前記パターンを前記基板上に転写する。

41. マスクに形成されたパターンを投影光学系を介して基板上に転写する露光装置の製造方法は、以下を含む：

請求項8に記載の光学特性計測方法により投影光学系の光学特性を計測する

；

前記光学特性の計測結果に基づいて前記投影光学系を調整する。

42. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程では、請求項28に記載の露光装置を用いて露光を行

1

43. リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程では、請求項 3 1 に記載の露光装置を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。